

Schlussbericht I - Kurzdarstellung

Förderkennzeichen: 13N15404

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der angewandten Forschung e.V.
– Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT)

Teilvorhaben:
Entwicklung und Fertigung der Spektrometermodule

Im Verbundprojekt
Quanten-OCT keramischer und polymerer Werkstoffe mit
verschränkten Photonen im mittleren Infrarot (QUIN)

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021-30.04.2025

Aachen, den 31.10.2025

Berichtersteller:
Fabian Wendt M. Sc.

1 Ausgangssituation und Projektziel

Verbundübergreifendes Entwicklungsziel des Projekts QUIN war ein Demonstrator für die 3D-Quanten-Bildgebung mittels optischer Kohärenztomographie (OCT) mit verschränkten Photonen im mittleren Infrarot für die industrielle Prüfung von stark streuenden Materialien wie Keramiken. Dabei tasten die idler-Photonen im mittleren Infrarot die Prüfkörper ab. Die Messinformation wird auf die verschränkten signal-Photonen im nahen Infrarot übertragen, die mit konventionellen Silizium-Detektoren erfasst werden. Das zugrundeliegende Messkonzept wurde in Vorarbeiten vom Projektpartner Humboldt-Universität zu Berlin (HUB) im Labor demonstriert. Im Projekt QUIN sollte dieses Konzept in eine industriennahe Einsatzumgebung übertragen werden.

Das Teilvorhaben des Fraunhofer ILT umfasst die Entwicklung an das Messverfahren angepasster hochauflösender Zeilenspektrometer zur Erfassung der signal-Photonen im Spektralbereich 785-825 nm sowie die Charakterisierung des QUIN-Sensors im Labor.

2 Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Die optische Auslegung der fasergekoppelten Spektrometer richtete sich nach dem Emissionsspektrum der QUIN-Lichtquelle im nahen Infrarot. Die Detektionsbandbreite entsprach dem Emissionsspektrum der signal-Photonen von 785-825 nm. Durch Verwendung eines CMOS-Sensors mit 4096 Bildpunkten und einer Kombination von Transmissionsgitter und Prisma wird eine hohe spektrale Auflösung mit näherungsweise linearer Abtastung in der Wellenzahl erreicht.

Um eine Justierung ohne Expertenwissen zu ermöglichen und eine Dejustierung bei Transport oder durch thermische Schwankungen zu korrigieren, wurde ein automatisiertes Justierkonzept entwickelt. Aus den gemessenen Intensitätsunterschieden zwischen den zwei Detektorzeilen die Art der Dejustierung bestimmt und über zwei piezogetriebene Schrauben automatisch korrigiert.

Bei dem Messverfahren im QUIN-Projekt handelt es sich zunächst um ein Punktmessverfahren, bei dem ein Tiefenschnitt (A-Scan) der Probe an einem

einzelnen Messort erfasst wird. Zum Abscannen der Probe wurde ein Galvanometerscanner genutzt. Für die Abbildung der breitbandigen MIR-Strahlung wurde ein farbkorrigiertes Scanobjektiv ausgelegt, welches in einer der Scanachsen telezentrisch abbildet.

Die vom Fraunhofer ILT entwickelten Spektrometer wurden mit der Detektorelektronik sowie der miniaturisierten Quantenlichtquelle der Projektpartner zur QUIN-Sensorik kombiniert, im Labor des Fraunhofer ILT geprüft und schließlich in einer 3D-Inspektionsanlage beim Projektpartner Nela Brüder Neumeister GmbH in den QUIN-Demonstrator integriert und messtechnisch bewertet.

3 Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten

Die vollständige QUIN-Sensorik erreichte eine schrotrauschlimierte Sensitivität, d.h. ein Signal-Rausch-Verhältnis bei einer Reflektivität von 100%, von 67 dB/s am Messbereichsanfang. Die Spektrometer erlaubten einen eindeutigen Messbereich von 16 mm, über den die Sensitivität mit etwa -1,6 dB/mm abfällt. Jedoch führte Dekohärenz der Quantenlichtquelle zu einem deutlich verstärkten Signalverlust entlang des Messbereichs, der den praktisch nutzbaren Messbereich auf ca. 4 mm reduzierte.

Das Scankonzept erwies sich als anwendungsgerecht und führte in der telezentrischen Achse zu einem gleichmäßig hohen Signal bei einer verfügbaren Scanlänge von ca. 20 mm.

Die QUIN-Sensorik mit einer axialen Auflösung von ca. 15 μm in Luft ist insbesondere geeignet für tomographische Messungen in Zirkonoxid (ZrO_2) mit Eindringtiefen im Millimeterbereich sowie für oberflächennahe Messungen in Aluminiumoxid (Al_2O_3) mit Eindringtiefen bis ca. 300 μm .

Die Sensitivität der QUIN-Sensorik war ausreichend zur Vermessung von einfachen Messgeometrien mit flachen, glatten Oberflächen und senkrechtem Lichteinfall mit 10-100 Messpunkten pro Sekunde. An stärkeren Neigungen, rauen Oberflächen und innenliegenden Defekten unregelmäßiger Struktur erwies sich die Sensitivität als zu gering für die auftretenden Signalverluste.